

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 195 16 643 C 1

21 Aktenzeichen: 195 16 643.4-52  
22 Anmeldetag: 5. 5. 95  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 14. 8. 96

51 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
G 01 L 1/16  
G 01 B 7/00  
G 12 B 1/00  
G 01 D 5/54  
G 01 N 3/40  
G 01 N 11/10  
G 01 N 19/00

DE 195 16 643 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Hamm, Wolfgang A., Dr., 89073 Ulm, DE

74 Vertreter:  
PFENNING MEINIG & PARTNER, 80336 München

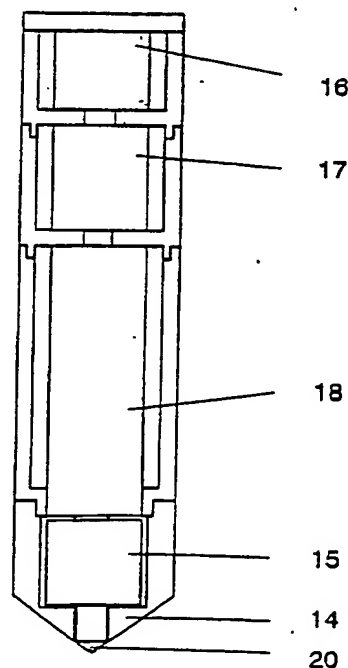
72 Erfinder:  
gleich Patentinhaber

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-GM 88 08 120  
US 48 00 760

54 Vorrichtung zur Ermittlung von auf einen Meßkopf wirkende Kräfte und deren Verwendung

57 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bestimmung der Härte von Stoffen, wie Metalle, Keramiken, Kunststoffe, Gummis, Naturprodukte (z. B. Gestein, Holz, Lebensmittel, Obst) u. a. Stoffen. Außerdem kann die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Kompressionsmessung, für Spannungs-/Dehnungsmessungen, Viskositätsprüfungen, zur Haft-, Gleit- und Rollreibungskraftmessung, Bestimmung des E-Moduls zur Schichtdickenmessung (nach Knoop) des Schubmoduls (G-Modul) bei oszillierender Bewegung eines Meßkopfes und zur Bestimmung von Versagenskriterien (wie Bruchversuche oder Ausstoßversuch einer Tablette aus einer Verpackung) eingesetzt werden. Die Vorrichtung soll einfach aufgebaut und universell einsetzbar sein sowie über eine hohe Meßgenauigkeit verfügen. Dabei wird eine auf einen Meßkopf, infolge einer mittels eines Meßkopfantriebes definiert vorgegebenen Bewegung des Meßkopfes auf diesen wirkende Kraft bestimmt, indem ein piezoelektrisches Stellglied, mindestens eine Einheit (18) mit großer Vorschubwegauflösung, in Kombination mit anderen Einheiten (17) oder den Meßkopfantrieb allein bildet und der Meßkopfantrieb mit einer Einrichtung (16) zur Messung des Vorschubweges und mit einer Kraftmeßeinrichtung (15) kombiniert ist.



DE 195 16 643 C 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und deren Verwendung zur Bestimmung der Härte von Stoffen, wie Metalle, Keramiken, Kunststoffe, Gummis, Naturprodukte (z. B. Gestein, Holz, Lebensmittel, Obst) u. a. Stoffen. Außerdem kann die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Kompressionsmessung, für Spannungs-/Dehnungsmessungen, Viskositätsprüfungen, zur Haft-, Gleit- und Rollreibungskraftmessung, Bestimmung des E-Moduls zur Schichtdickenmessung (nach Knoop) des Schubmoduls (G-Modul) bei oszillierender Bewegung eines Meßkopfes und zur Bestimmung von Versagenskriterien (wie Bruchversuche oder Ausstoßversuch einer Tablette aus einer Verpackung) eingesetzt werden.

Bisher ist es üblich, bei den einschlägigen Meßverfahren und den dabei verwendeten Vorrichtungen, beispielsweise wie das bei der Härtemessung der Fall ist, die benötigten Kräfte mittels Gewichten, Federn oder unter Verwendung fluidischer Medien zu erzeugen. Es ist auch üblich, elektromotorische Antriebe, wie z. B. Synchron- oder Schrittmotore zu verwenden. Ebenso kommen auch elektromagnetische Stellelemente, wie Permanentmagnete und Tauchspulen zur Anwendung. Bei diesen bekannten Arten der Krafterzeugung steht jedoch das Problem der Kraftaufbringung vor allem. Die bekannten Lösungen haben den gemeinsamen Nachteil, daß sie bezüglich der aufbringbaren Kräfte und der Einstellung des Arbeitsweges nur begrenzt regelbar sind. Wird beispielsweise die Kraft durch die Absenkung eines Gewichtes aufgebracht, kann die Vorschubgeschwindigkeit nur mit einer Gewichtsbremse geregelt werden. Eine aktive Kraftregelung ist so nicht möglich. Für viele Anwendungsfälle ist jedoch eine aktive Regelung der aufzubringenden Kraft in bezug zum Vorschubweg und/oder auch zeitabhängig erforderlich. Ebenso nachteilig ist es, daß die bekannten Lösungen in der Regel nicht multifunktionell einsetzbar sind. Es handelt sich dabei um stationäre Geräte, die nur für eine Meßaufgabe einsetzbar sind. Ein weiterer Nachteil der bekannten Lösungen besteht in der oft nicht ausreichenden Meßgenauigkeit.

Eine bekannte Meßvorrichtung mit einem elektromechanischen Wandler zur Messung der Kraftwirkungen in einem mechanisch belasteten Maschinenteil oder dergleichen, ist in US 4 800 760 beschrieben. Die Meßvorrichtung ist dabei in einer Bohrung des Maschinenteils eingesetzt und kann unter gleichzeitiger Vorspannung des elektromechanischen Wandlers dort kraftschlüssig verspannt werden. Der elektromechanische Wandler kann bei dieser Vorrichtung durch eine koaxial in einer Hülse angeordnete Schraubspindel und einer mit dieser in Eingriff befindlichen Schraubeinrichtung im Inneren der Hülse axial verschoben werden. Der Wandler verfügt über diametral gegenüberliegende Krafteinleitungselemente, die an einem Innenkonus in der Hülse zur verspannenden Spreizung unmittelbar in Eingriff bringbar ist. Mit dem elektromechanischen Wandler können dabei sowohl Druckkräfte, wie auch tangential Schubkräfte an der Hülsewandung gemessen werden, wenn durch die axiale Verschiebung in Verbindung mit dem Innenkonus in der Hülse der Wandler im verspannten Zustand gehalten ist.

Die Messung der Kraft, mit der eine Tastelektrode gegen einen menschlichen oder tierischen Körper zur Erfassung von krankem Gewebe unter Ausnutzung einer Hochfrequenz-Energiequelle ist in DE-GM 88 08 120 beschrieben. Dabei soll die Messung der

Feldstärke des HF-Feldes immer mit der gleichen Anpreßkraft gegen den Körper erfolgen. Die dort beschriebene Tastelektrode wird gegen den Körper bewegt und die entsprechende Anpreßkraft soll beispielsweise auch mit einem piezoelektrischen Meßelement gemessen werden, wobei bei einem vorgegebenen Wert für die Andruckkraft ein Signal erzeugt werden soll.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zu schaffen, die einfach aufgebaut ist, universell einsetzbar ist und eine hohe Meßgenauigkeit gewährleistet.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im Patentanspruch 1 genannten Merkmale gelöst. Vorteilhaft Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich bei Verwendung der in den untergeordneten Ansprüchen genannten Merkmale.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist zumindestens eine Einheit eines Meßkopfantriebes als piezoelektrisches Stellglied ausgebildet, das den Meßkopf mit höchster Genauigkeit, durch sehr große Vorschubauflösung, translatorisch gegen den zu messenden Stoff beziehungsweise den Körper bewegt. Dabei ist es vorteilhaft, an den Meßkopf eine Kraftmeßeinrichtung und eine Einrichtung zur Messung des Vorschubweges anzugreifen zu lassen. Die Vorschubwegauflösung, der durch das piezoelektrische Stellglied gebildeten Einheit des Meßkopfantriebes sollte im Bereich von 0,1 µm oder noch kleiner liegen.

Die Einsetzbarkeit der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann sich durch die Verwendung zusätzlicher Einheiten, für den Meßkopfantrieb erhöhen. Die verwendeten Einheiten sollten dabei verschiedene Vorschubwegaufösungen von klein bis mittel aufweisen. Wobei die kleine Vorschubwegauflösung im Bereich von etwa 0,1 µm liegt.

Bevorzugt werden die verschiedenen Einheiten des Meßkopfantriebes seriell hintereinander angeordnet und können alternativ zueinander den Vorschub des Meßkopfes je nach eigener Möglichkeit durchführen. So ist beispielsweise die Einheit, die eine kleine Vorschubwegauflösung ermöglicht, ein elektromagnetischer Antrieb. Dieser Antrieb ist bevorzugt dazu einsetzbar, den Meßkopf bis hin zu oder zumindestens in die direkte Nähe des zu messenden Stoffes bzw. Körpers zu bewegen. Dieser Antrieb kann auch verwendet werden, wenn die Meßaufgabe keine hochgradige Genauigkeit erfordert.

Wird eine höhere Meßgenauigkeit gewünscht, kann die Einheit des Meßkopfantriebes aktiviert werden, die eine mittlere Vorschubwegauflösung erreicht. Kommt es auf höchste Meßgenauigkeit an, wird nach Erreichen der Oberfläche des Stoffes bzw. des Körpers, die Einheit mit der größten Vorschubwegauflösung aktiviert. Dabei ist vor dem eigentlichen Meßvorgang zu überprüfen, ob sich das hierfür verwendete piezoelektrische Stellglied in Ausgangsstellung befindet oder nicht.

Vorteilhaft ist es, wenn das piezoelektrische Stellglied beim Anfahren an das eigentliche Meßobjekt, bis zur Berührung, durch Anlegen einer Spannung vorgespannt ist, um Beschädigungen in der Vorschubphase zu vermeiden. Erst nach Erfassung einer Berührung, vor dem Meßvorgang, wird das piezoelektrische Stellglied in die Ausgangsstellung zurück versetzt.

Mit einem solchen Stellglied sind Vorschubwege von etwa 100 µm ohne weiters erreichbar und über den gesamten Vorschubweg ist eine exakte Einstellbarkeit möglich.

Insbesondere für den Vorschub mit mittlerer Vorschubwegauflösung sind piezoelektrische Antriebe ge-

eignet, die Vorschubbewegung über einen etwas größeren Vorschubweg ermöglichen. Dies bei den piezoelektrischen Stellgliedern der Fall ist. Zur Einhaltung einer hohen Meßgenauigkeit ist es günstig, die Kraftmeßeinrichtung, die ein bekannter Kraftsensor sein kann, direkt zwischen Meßkopf und Meßkopfantrieb anzuordnen und so bei der Kraftmessung der Querkraftkomponenten von vornherein weitestgehend aus zuschließen.

Aus Platzgründen kann dabei aber auch die Kraftmeßeinrichtung parallel zum Meßkopfantrieb angeordnet sein. Vorteilhaft ist es, die Kraftmeßeinrichtung austauschbar zu gestalten, um dem entsprechenden Anwendungszweck insbesondere in bezug auf Meßgenauigkeit und Meßbereich angepaßte Kraftmeßeinrichtungen verwenden zu können.

Für die verschiedensten, weiteren Anwendungen ist es ebenfalls günstig, den Vorschubweg des Meßkopfes genau zu messen und dazu die Einrichtung zur Messung des Vorschubweges starr mit dem Meßkopf zu verbinden. Dabei ist es ebenfalls günstig, wenn die Einrichtung zur Messung des Vorschubweges entsprechend ausgetauscht werden kann und so eine Anpassung an verschiedene Meßbedingungen möglich wird.

Zur Bestimmung des Vorschubweges können die verschiedensten bekannten optischen Wegmeßsysteme eingesetzt werden. Beispielsweise ist dabei die Verwendung einer Schlitzscheibe, mit einer aus Lichtquelle und Lichtempfänger gebildeten Lichtschranke ebenso möglich, wie Lasersysteme mit einem Encoder, wobei beispielsweise ein Michelson-/Interferometer eingesetzt werden.

Es können aber auch andere Meßverfahren zur Bestimmung des Vorschubweges des Meßkopfes eingesetzt werden. Hierfür können bekannte Abstandserfassungssysteme, wie beispielsweise ein Mikrowellensystem, eine Resonanzsonde, kapazitive oder induktive Sensoren eingesetzt werden. Neben diesen genannten Möglichkeiten können auch auf Folien aufgebrachte Dehnmeßstreifen für die Ermittlung des Abstandes oder des Vorschubweges des Meßkopfes eingesetzt werden.

Vorteilhaft ist es, wenn die erfindungsgemäße Vorrichtung so ausgebildet ist, daß der Meßkopf oder die Meßkopfspitze je nach zu verwirklichender Meßaufgabe durch entsprechenden Austausch an diese angepaßt werden kann. Eine besonders vorteilhafte Möglichkeit besteht, neben den bekannten mechanischen Verbindungen darin, daß der Meßkopf in der Vorrichtung durch magnetische oder elektromagnetische Kräfte gehalten ist. Dadurch kann er auf einfache Weise entfernt und durch einen neuen ersetzt werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, den Meßkopf mechanisch mit Schrauben, Gewinden, Bolzen, Stiften u. a. zu befestigen. Außerdem ist bei entsprechender Formgebung von Meßkopf und Meßkopfaufnahme gewährleistet, daß Spielfreiheit zwischen beiden Teilen besteht und so kein negativer Einfluß auf die gemessenen Meßsignale auftritt.

Wird die Vorschubbewegung von den Einheiten des Meßkopfantriebes durch Rotation auf den Meßkopf übertragen, erfolgt dies vorteilhaft über eine im Gehäuse axial und radial spielfrei gelagerte Antriebswelle, die in Vorschubrichtung vorgespannt ist. Der Antrieb der Antriebswelle erfolgt dabei einmal durch die Einheit mit kleiner Vorschubwegauflösung oder die Einheit mit mittlerer Vorschubwegauflösung. Der Vorschub, der mit dem piezoelektrischen Stellglied realisiert wird erfolgt ausschließlich translatorisch, durch dessen geome-

trische Ausdehnung.

Eine weitere Verbesserung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist dadurch erreichbar, daß sowohl die Antriebswelle als auch das piezoelektrische Stellglied röhrenförmig ausgebildet sind und es dadurch möglich ist, ein optisches Wegmeßsystem im Inneren der Vorrichtung anzuordnen, was dazu führt, daß die Baugröße für die Vorrichtung verringert wird und gleichzeitig der Einfluß von Streulicht bei der Messung des Vorschubweges verhindert wird.

Für den Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es ebenfalls günstig, wenn diese so ausgebildet ist, daß ein einfacher Austausch des piezoelektrischen Stellgliedes möglich ist. Durch den Austausch des piezoelektrischen Stellgliedes ist eine Anpassung an verschiedene Vorschubwege und eine Anpassung der Vorschubauflösung möglich. Beides führt dazu, daß die Vorrichtung in bezug auf die Meßaufgabe weiter optimiert wird und für den Fall der Zerstörung des piezoelektrischen Stellgliedes die Ausfallzeit stark reduziert werden kann, da eine zeitaufwendige Reparatur in einer Werkstatt nicht erforderlich ist.

Nachfolgend soll die Funktion der erfindungsgemäßen Vorrichtung beschrieben werden. Nach einer entsprechenden Eichung und Initialisierung werden nach Einschalten der Vorrichtung die Signale, aller elektrischen Komponenten der Vorrichtung in eine zentrale Steuereinheit eingelesen. Dies sind die tatsächlichen von den einzelnen Einheiten des Meßkopfantriebes realisierten Vorschubwege, die mit der Vorschubmeßeinrichtung erfaßt worden sind und die mit dem Kraftsensor gemessene Kraft. Mit dem Einlesen dieser Werte in die zentrale Steuereinheit können diese Anfangsparameter auf einem Bildschirm dargestellt werden und die momentane Position der erfindungsgemäßen Vorrichtung insbesondere der des Meßkopfes kann der Bediener erkennen und weiter reagieren. Der Bediener kann dann durch Eingabe von Positionierbefehlen die Vorrichtung dazu veranlassen, daß die für eine Messung erforderliche Position angefahren wird. Hierbei werden je nach zu realisierendem Vorschubweg die einzelnen Einheiten des Meßkopfantriebes aktiviert. Der elektromagnetische Antrieb mit kleiner Vorschubwegauflösung ist für das grobe Anfahren des Meßkopfes zuständig. Besteht der Meßkopf aus drei verschiedenen Einheiten, wird der letzte Teil der Vorschubbewegung des Meßkopfes bis nahezu zur Berührung des Meßkopfes mit dem Meßobjekt bzw. des Stoffes mit Hilfe der Einheit durchgeführt, die eine mittlere Vorschubauflösung erreicht. Erfaßt dann beispielsweise der Kraftsensor, daß auf den Meßkopf eine Kraft wirkt, wird der Vorschub des Meßkopfes sofort angehalten und auf dem Bildschirm angezeigt, daß eine Kraft erfaßt worden ist. Dies führt dazu, daß eine Beschädigung verhindert wird oder ein unnötiger, unerwünschter Meßvorgang nicht ausgelöst werden kann. Dieser kurze Zwischenhalt kann durch eine weitere Eingabe des Bedieners beendet und der Meßvorgang kann durchgeführt werden. Insbesondere bei der Härtemessung wird der Vorschub nach Berührung des Meßkopfes allein vom piezoelektrischen Stellglied realisiert und die aufzubringende Kraft kann gleichmäßig ohne störende Einflüsse aufgebracht werden.

Der Betrieb der Vorrichtung kann aber auch automatisch unter Nutzung abgespeicherter Prüfprogramme, z. B. für Serienmessungen, erfolgen.

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung können verschiedene Betriebsarten ausgewählt und durchgeführt

werden. Eine Betriebsart ist eine eingababhängige Regelung. Sie kann einmal mit den Einheiten des Meßkopfantriebes durchgeführt werden, die über die kleinste Vorschubwegauflösung, über die Einheit mit der mittleren Vorschubwegauflösung oder die große Vorschubwegauflösung verfügen. In beiden Fällen wird über eine Eingabeeinheit der Verfahrensweg vorgegeben, d. h. einmal für die grobe Einstellung des Vorschubweges, die durch den elektromagnetischen Antrieb anzusteuende Position und für die etwas feinere Vorschubbewegungseinstellung, die vom piezoelektrischen Antrieb anzusteuende Position eingegeben wird.

Wird die Antriebsbewegung des elektromagnetischen oder des piezoelektrischen Antriebes über eine Antriebswelle auf den Meßkopf übertragen, so sollte die Antriebswelle mit den Antrieben über eine Torsionssteife, mechanische oder elektromagnetische Kupplung mit dem Schaft der Antriebswelle verbunden sein. Dabei ist die Antriebswelle in einer Antriebswellenmutter spielfrei geführt und die Antriebswellenmutter wird in Linearführungen spielfrei in der erfindungsgemäßen Vorrichtung gehalten. So wird durch Drehung der Antriebe eine nahezu spielfreie Linearbewegung der zusätzlich angebrachten Einheit des Meßkopfantriebes mit der großen Vorschubwegauflösung, dem daran befestigten Kraftdetektorsystems und dem Meßkopf erreicht. Das Umkehr- und Axialspiel kann je nach Vorspannung der Spindelmutter ca. 1 µm sein.

Die letztgenannte Einheit des Meßkopfantriebes wird dann für die Feinmessung eingesetzt. Hierbei wird das piezoelektrische Stellglied durch Eingabe der Werte für die anzusteuende Position bzw. den maximalen Vorschubweg beeinflusst. Dabei müssen die Parameter des piezoelektrischen Stellgliedes, wie die mechanischen (Piezostackdimensionen), das Auflösungsvermögen bei der entsprechenden Stellung je nach angesteuerter Antriebsseinheit und die Parameter der elektronischen Bauteile (z. B. der AD/DA-Wandler) der Steuerung berücksichtigt werden.

Eine weitere Möglichkeit einer Betriebsart ist eine Kraftregelung. Hierbei wird mit den gleichen Komponenten, wie bei dem vorgeschriebenen weggeregelten Modus gearbeitet. Es wird dabei lediglich der aktuelle gemessene Kraftwert mit einem Sollkraftwert, der vorab über eine Eingabe eingegeben worden ist, verglichen und das Steuerprogramm des piezoelektrischen Stellgliedes oder der anderen Antriebe mit einer PID-Regelung (Proportional-Integral-Differential-Regelung) oder einer Fuzzy-Logic-Regelung, gesteuert.

Neben dem bereits beschriebenen Betriebsmoden ist ein weiterer, nämlich der freigewählte Modus für die erfindungsgemäße Vorrichtung möglich. Hierbei wird ebenfalls mit den gleichen Komponenten gearbeitet. Es wird lediglich mit gekoppelter Weg- und Kraftregelung gearbeitet. Dabei werden die Vorschubwege, die durch das piezoelektrische Stellglied, den elektromagnetischen oder den piezoelektrischen Antrieb erreicht und der vorgegebene Kraftsollwert frei oder in Kombination zueinander ausgewählt werden. Der Vorschub kann so gesteuert werden, daß Haltephasen oder gar ein Zurückziehen des Meßkopfes erreicht wird, was sich insbesondere, bei der Messung an elastischen Körpern/Stoffen, positiv auswirkt.

In allen Fällen wird nach jeder Messung der Meßkopf um einen frei wählbaren Weg zurückgefahren — freigegeben —, um bei einem lateralen Verfahren entweder der Vorrichtung oder des zu messenden Körpers, eine Beschädigung durch ein seitliches Anstoßen zu verhin-

dern. Eine solche Bewegung darf nur erfolgen, wenn vom Kraftdetektor keine Kraft erfaßt wird. Wird eine Kraft erfaßt, wird die Bewegung sofort abgeschaltet und ein weiteres Zurückfahren des Meßkopfes muß erfolgen, bis keine Kraft mehr erfaßt wird und ein weiteres gefahrloses Verfahren der Vorrichtung möglich ist. Normalerweise liegt ein solches Freimachen in einem Bereich bis zu 50 µm.

Aus Sicherheitsgründen kann die erfindungsgemäße Vorrichtung auch im Speicher eine maximale Kraft enthalten, die bei der Messung nicht überschritten werden darf. Ist dies trotzdem der Fall gewesen, wird im Speicher ein Überlastbit abgelegt, das bei jeder erneuten Inbetriebnahme der Vorrichtung abgefragt wird und die Betriebnahme der Vorrichtung, im Falle des vorherigen Überschreitens dieser maximalen Kraft, verhindert, um sicher zu stellen, daß keine falsche Messung mit defekter Kraftdetektion erfolgen kann.

Vorteilhaft ist auch, wenn nach Ablauf jedes Meßvorganges die ermittelten Meßergebnisse auf einem Bildschirm wiedergegeben werden und sofort nach Beendigung des Prüfvorganges eine Abspeicherung der Meßwerte erfolgt, so daß diese für die Erstellung von Prüfungsprotokollen, für Qualitäts- und Sicherheitskontrollen weiter zur Verfügung stehen. Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn mit der Abspeicherung gleichzeitig der Speicherdatei eine Nummer automatisch zugeordnet wird, so daß die ermittelten Meßwerte auch nachträglich zuordenbar bleiben.

Günstig ist es, wenn bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine Linearführung für die Einheit des Meßkopfantriebes mit der großen Vorschubwegauflösung vorhanden ist, die drehfest mit einer Antriebswelle, die mit anderen Einheiten des Meßkopfantriebes verbunden ist. Dabei ist das piezoelektrische Stellglied, das die Einheit mit der großen Vorschubwegauflösung bildet, so angeordnet, daß es axial oder auch parallel zur translatorischen Bewegungsrichtung des Meßkopfes in bezug auf die Antriebswelle angeordnet ist.

Vorteilhafterweise können austauschbare Meßköpfe eingesetzt werden. Für die Messung können Meßspitzen aus den verschiedensten Materialien, wie Stahl, Hartmetall und andere Materialien großer Härte, ähnlich der von Diamanten, wie Diamanten selbst in den verschiedensten Formen verwendet werden. So können sie beispielsweise die Formen und Abmaße der bei genormten Härtemessungen üblichen Meßköpfe aufweisen.

Neben der Kraftmeßeinrichtung, die bevorzugt ein Dynamometer sein kann, werden zur Messung der Vorschubbewegung auch Abstandserfassungssysteme eingesetzt, die mit der Antriebseinheit fest verbunden sind. Hierfür kann einmal ein Dekoder eines elektromagnetischen Antriebes eingesetzt werden. Weitere geeignete Abstandserfassungssysteme können in geeigneter Form angebrachte Dehnungsmeßstreifen oder bekannte Halbleiterfolien mit DMS sein, deren Widerstand sich entsprechend verändert.

Als optisches Längenmeßsystem, zur Abstandserfassung kann beispielsweise auch ein bekanntes Interferometer verwendet werden, um die Vorschubbewegung des Meßkopfes zu steuern oder zu überwachen. Eine weitere Möglichkeit zur Verwendung für ein Abstandserfassungssystem ist der Einsatz einer piezoelektronischen Sonde.

Vorteilhaft ist es, wenn die Meßauflösung des Abstandserfassungssystems an die Auflösung des Vorschubweges, der mit den verschiedenen Einheiten reali-

sierbar ist, angepaßt werden. So ist beispielsweise die Meßauflösung bei der Überwachung des Vorschubes, der mit der Einheit, die eine kleine Vorschubwegauflösung aufweist und für einen größeren Vorschubweg zuständig ist, ebenfalls eine kleine Auflösung ausreichend. Im Gegensatz dazu muß, wenn die Vorschubbewegung des Meßkopfes allein mit dem piezoelektrischen Stellglied erreicht wird ebenfalls eine sehr hohe Auflösung des Abstandserfassungssystems vorhanden sein.

Die Einheit des Meßkopfantriebes, die eine kleine Vorschubwegauflösung hat, realisiert einen Vorschubweg von bis zu 200 mm, die Einheit, mit einer mittleren Auflösung des Vorschubweges kann einen Vorschubweg bis zu 50 mm bewirken und die Einheit mit der größten Auflösung kann einen sehr kleinen Vorschubweg, bis zu etwa 300 µm, sehr genau bewirken. Der so erzielte Vorschubweg, kann in dieser genauen Form in seiner Summe erhöht werden, wenn mehrere piezoelektrische Stellglieder nacheinander, gesondert voneinander ansteuerbar, angeordnet werden und durch gezieltes Anlegen von Spannungen an die einzelnen Stellglieder der gewünschte Vorschubweg erreicht wird.

Für bestimmte Meß- bzw. Prüfverfahren, wie z. B. der Bestimmung des Schubmoduls ist es günstig, wenn die Einheiten des Meßkopfantriebes in der Lage sind, oszillierende Bewegungen des Meßkopfes hervorzurufen, und mit einer Logik-Technik die Phasenverschiebung zu ermitteln. Für ein piezoelektrisches Stellglied ist dies relativ einfach möglich, in dem eine gepulste Spannung oder gar eine Wechselspannung angelegt wird.

Für die elektronische Auswertung kann einmal die Stellung der Linearführung und damit verbunden die Stellung des Meßkopfes oder die Stellung des Meßkopfes allein über einen A/D-Wandler, einen I/O-Zähler oder einen optischen Laufzeitzähler ermittelt werden, um so den möglichen Vorschubweg zu bestimmen, und die einzelnen Einheiten des Meßkopfantriebes entsprechend ansteuern zu können. Diese Ansteuerung kann vorzugsweise mit einer Soll-Ist-Wertvergleichseinrichtung durchgeführt werden. Eine solche elektronische Steuerung eines Meßkopfantriebes ist bevorzugt relativ frei programmierbar und kann so auf einfache Art und Weise manuell beeinflußt werden.

Aus Sicherheitsgründen sind magnetische, elektrische, elektronische, elektromagnetische oder optische Anschläge vorgesehen, die die maximale Vorschubbewegung begrenzen.

Nachfolgend soll die Erfindung an Ausführungsbeispielen näher beschrieben werden.

Dabei zeigt:

Fig. 1 eine Schnittdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit zwei den Meßkopfantrieb bildenden Einheiten;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit zwei den Meßkopfantrieb bildenden Einheiten;

Fig. 3 ein Blockschaltbild für die Verwendung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer elektronischen Steuerung;

Fig. 4 ein Kraft-Weg-Diagramm gemessen an zwei Gummibällen;

Fig. 5 ein Kraft-Zeit-Diagramm entsprechend dem in Fig. 4 gezeigten Diagramm und

Fig. 6 ein Weg-Zeit-Diagramm.

Die in der Fig. 1 gezeigte Vorrichtung kann relativ universell eingesetzt werden. Der Einsatz kann hierbei an die verschiedensten Meßaufgaben angepaßt und die

erfindungsgemäße Vorrichtung in entsprechenden Aufnahmen aufgenommen werden. Die Vorrichtung besitzt vorzugsweise einen runden Querschnitt, für eine günstige Halterungsart wie z. B. Klemmbefestigung am Außenmantel. Die Aufnahme kann dabei an verschiedensten Fertigungseinheiten zur Überwachung bestimmter Parameter direkt in der Produktion vorgenommen werden. Es ist jedoch auch die Anbringung an bestimmten Teilen eines Industrieroboters möglich, so daß die Vorrichtung mit dessen Hilfe zu den verschiedensten Meßpunkten manövriert werden kann.

Das dargestellte Beispiel ist modular aufgebaut und besteht bei diesem Beispiel aus den Modulen 1 bis 3. Die einzelnen Module 1 bis 3 können auf einfache Art und Weise ausgetauscht oder sogar mit zusätzlichen Modulen ergänzt werden. Bei diesem Beispiel bildet der Modul 1 die Einheit des Meßkopfantriebes, die eine kleine Vorschubwegauflösung aufweist und mit der in grober Form der größte Teil des Vorschubweges erreicht wird. Dabei ist ein elektromagnetischer Antrieb 1 über eine Kupplung 2 mit einer Antriebswelle 3 verbunden. Der elektromagnetische Antrieb 1 ist hierbei mit einer Befestigungsplatte 4 am Grundkörper 5 des Modules 1 befestigt. Im Grundkörper 5 des Modules 1 ist zur Führung der Antriebswelle 3 ein spielfreies Präzisionskugellager 6 mit einem Abstandsring und einer Platte 7 befestigt. Dabei ist die Welle 3 mit einer Befestigungsmutter 8 mit dem Präzisionskugellager 6 verbunden. An der Antriebswelle 3 ist eine vorgespannte spielfreie Antriebswellenmutter 10 vorhanden, die an einem die Antriebswelle 3 umgreifenden Käfig 11 befestigt ist. Am Käfig 11 sind in Linearführungen 9 eingreifende Führungselemente 12 vorhanden.

Beim Einschalten des elektromagnetischen Antriebes wird die Antriebswelle 3 definiert gedreht und mit Hilfe der Vorspannung und der Führung 9, 12 eine translatorische Bewegung der Meßkopfspitze 20 des Meßkopfes 21 hervorgerufen. Das Modul 1 ist dabei so ausgelegt, daß eine Vorschubbewegung bis zu 150 mm bei einer Vorschubauflösung von maximal 1 µm erreicht werden kann. An das Modul 1 kann ein weiteres Modul 2 angebracht sein, das den Vorschub des Meßkopfes 21 mit wesentlich größerer Auflösung ermöglicht. Hierfür ist eine Aufnahme für ein piezoelektrisches Stellglied 13 vorhanden. Das piezoelektrische Stellglied ist in der Lage einen Vorschubweg von maximal 200 µm bei einer Auflösung von < 0,01 µm zu erwirken.

An das zweite Modul, das die zweite Einheit des Meßkopfantriebes bildet, schließt sich das Modul 3, der eigentliche Meßkopf an. Dieser ist vorzugsweise weitestgehend von einem Faltenbalg 14 umschlossen, um die einzelnen Meßelemente vor mechanischen Einflüssen und Verschmutzungen zu schützen. Außerdem ist als Kraftmeßeinrichtung eine dynamometrische Zelle 15 im Meßkopf 21 aufgenommen. Bei diesem Beispiel kann der gesamte Meßkopf 21 inklusive der Kraftmeßeinrichtung 15 ausgetauscht werden.

Der Meßkopf 21 kann jedoch auch so ausgebildet sein, daß jedes Teil für sich austauschbar ist. Dabei kann die Prüfspitze 20 entsprechend des geforderten Meßverfahrens gegen eine andere ersetzt werden, die in Form und Größe entsprechend angepaßt ist. Ebenso ist ein Austausch der dynamometrischen Zelle möglich, um eine Anpassung an verschiedene Meßbereiche vornehmen zu können.

Bei diesem Beispiel kann das Modul 1 durch ein anderes Modul ersetzt werden. Bei diesem wird an Stelle des elektromagnetischen Antriebes 1 ein piezoelektrischer



Antrieb verwendet und so eine Einheit des Meßkopfantriebes eingesetzt, die eine mittlere Vorschubwegauflösung für die Messungen erreicht. Mit einer solchen Einheit ist ein Vorschubweg bis zu 30 mm erreichbar.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann jedoch auch, wie dies nicht dargestellt ist, mit vier Modulen aufgebaut sein, wobei ein zusätzlicher Modul eingesetzt ist und der Meßkopfantrieb aus insgesamt drei Einheiten gebildet wird. Mit einer so aufgebauten Vorrichtung können drei verschiedene Vorschubwegauflösungen eingestellt oder gewählt werden. Damit ist ein optimaler Einsatz einer so ausgebildeten Vorrichtung möglich.

Das in der Fig. 2 dargestellte Beispiel entspricht im wesentlichen dem, das in der Fig. 1 gezeigt ist. Die Darstellung ist jedoch gegenüber der ersten schematisiert und Einzelheiten sind dabei weggelassen worden.

Im Unterschied zum Beispiel nach der Fig. 1 ist ein optisches Wegmeßsystem (16) vorhanden, mit dessen Hilfe die Vorschubbewegung des Meßkopfes 21 überwacht, gesteuert bzw. geregelt werden kann. Auch bei diesem Beispiel wird der Meßkopfantrieb aus zwei Einheiten 17 und 18 gebildet, wobei die Einheit 17 eine kleine Vorschubwegauflösung und die Einheit 18 eine große Vorschubwegauflösung aufweist. Vor den beiden Einheiten 17 und 18 ist ein Kraftdetektor 15 angeordnet, der die durch die Vorschubbewegung hervorgerufene Kraft, die auf die Prüfspitze 20 wirkt, erfaßt. Bevorzugt ist der Kraftdetektor 15 so ausgebildet, daß er sowohl Druck- als auch Zugkräfte erfassen kann.

Mit Hilfe des in Fig. 3 dargestellten Blockschaltbildes kann die Funktion der erfindungsgemäßen Vorrichtung beschrieben werden. Die Steuerung und Aktivierung der Meßvorgänge, die mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung durchführbar sind, erfolgt z. B. mit einem bekannten Personalcomputer an dem peripher ein Bildschirm, ein Drucker und eine Tastatur angeschlossen sein können. Je nach vom Bediener ausgewählten Meßprogramm steuert der Personalcomputer 19 über eine D/A-, A/D oder I/O-Steuerung 22 elektronische Schaltungen 23 und 24 für die Realisierung des Vorschubes des Meßkopfes 21 mit in diesem Fall zwei verschiedene Einheiten eines Meßkopfantriebes. Hierbei steuert die elektronische Schaltung 23 die Einheit 17 des Meßkopfantriebes, die für die grobe Vorschubregelung zuständig ist und die Schaltung 24 die Einheit 18, die für die feine Regelung des Vorschubes verwendet wird. Die Schaltung 25 übermittelt die vom optischen Wegmeßsystem 16 (Laser Encoder, DMS Halbleiterfolie) erfaßten Daten über die Steuerung 22 zum Personalcomputer 19 für die Auswertung der Messung. Nach Durchführung von Soll- und Istwertvergleichen und entsprechender Erzeugung von Steuersignalen, werden diese Steuersignale über die Steuerung 22 an die Einheit 23 oder 24, zur Realisierung eines entsprechenden erforderlichen Vorschubweges, geleitet. Die Schaltung 26 ist mit der Kraftmeßeinrichtung 15 und ebenfalls mit der Steuerung 22 verbunden. Das von der Kraftmeßeinrichtung 15 erfaßte Signal kann über die Schaltung 26 wiederum über die Steuerung 22 auf den PC 19 zur Auswertung und weiteren entsprechenden Steuerung der Messung verwendet werden, wie dies bereits bei dem optischen Wegmeßsignal beschrieben worden ist.

Die Einheit 17 kann hierbei ein Antrieb mit kleiner oder mittlerer Vorschubwegauflösung sein.

Zur Überwachung des realisierten Vorschubweges kann auch ein Schrittzähler 30 eingesetzt werden.

Für die Auswertung der Meßdaten oder auch eine externe Steuerung kann der Anschluß eines Modem

vorgesehen sein.

Die in den Fig. 4 bis 6 dargestellten Diagramme wurden bei Messungen an zwei Gummibällen durchgeführt, wobei ein Gummiball sehr gut sprang und demzufolge mit "Happy" bezeichnet wurde und ein nichtspringender, "Unhappy" bezeichneter Gummiball gemessen worden sind. In beiden Fällen erfolgte die Messung, wie das insbesondere der Fig. 6 zu entnehmen ist, in Stufen. Bei diesem Beispiel wurde der Vorschub gestuft in insgesamt 8, 500 µm Schritten durchgeführt, wobei nach jeder Vorschubstufe eine Haltephase eingelegt worden ist. Anschließend wurde, wie dies ebenfalls der Fig. 6 zu entnehmen ist, der Vorschub in der gleichen Weise zurückgeregelt. Insbesondere, dem in Fig. 4 gezeigten Kraft-Weg-Diagramm, ist zu entnehmen, daß der nichtspringende Ball eine wesentlich größere Hysterese aufweist, als der springende Ball (Happy). Wobei die ermittelten Kraftwerte für den "Happy"-Ball wesentlich größer, als die für den anderen Ball ermittelten, sind.

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Ermittlung einer auf einen Meßkopf, infolge einer mittels eines Meßkopfantriebes definiert vorgegebenen Bewegung des Meßkopfes auf diesen wirkenden Kraft, mit einem piezoelektrischen Stellglied (13), das mit mindestens einer Einheit (18) mit großer Vorschubwegauflösung, in Kombination mit anderen Einheiten (17) oder dem Meßkopfantrieb allein bildet und der Meßkopfantrieb mit einer Einrichtung (16) zur Messung des Vorschubweges und mit einer Kraftmeßeinrichtung (15) kombiniert ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einheit (18) mit der größeren Auflösung, mit einer zweiten Einheit (17) mit kleiner Vorschubwegauflösung und/oder einer dritten Einheit mit einer mittleren Vorschubwegauflösung, als Meßkopfantrieb verbunden ist/sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Einheiten (17, 18) seriell angeordnet sind.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Einheit (17) mit kleiner Vorschubwegauflösung ein elektromagnetischer Antrieb ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine der Einheiten (17) mit großer oder mittlerer Vorschubwegauflösung ein piezoelektrischer Antrieb ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kraftmeßeinrichtung (15) zwischen Meßkopfspitze (20) und der zu diesem benachbart angeordneten Einheit (18) des Meßkopfantriebes angeordnet ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Kraftmeßeinrichtung (15) austauschbar ist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Kraftmeßeinrichtung (15) axial oder parallel zum Meßkopfantrieb angeordnet ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Messung des Vorschubweges (16) starr mit dem Meßkopf verbunden ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Messung des Vor-

schubweges (16) austauschbar ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Messung des Vorschubweges (16) ein optisches Wegmeßsystem ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Wegmeßsystem ein Encoder mit einer Schlitzscheibe, Lichtquelle und Lichtempfänger ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Wegmeßsystem ein Lasersystem ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Messung des Vorschubweges ein Abstandserfassungssystem ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Abstandserfassungssystem ein Mikrowellen-System ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Abstandserfassungssystem ein Dehnmeßstreifen-System ist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Abstandserfassungssystem ein kapazitiver Sensor ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Abstandserfassungssystem ein induktiver Sensor ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Abstandserfassungssystem eine Resonanzsonde ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßkopf (21) austauschbar ist.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßkopf (21) magnetisch oder elektromagnetisch gehalten ist.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßkopf (21) mechanisch gehalten ist.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorschubbewegung des Meßkopfes (21) über eine axial oder parallel zu diesem ausgerichtete Antriebswelle (3) übertragbar ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebswelle (3) axial und radial spielfrei gelagert ist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebswelle (3) von der Einheit (1, 16) mit kleiner Vorschubwegauflösung und/oder der Einheit mit mittlerer Vorschubwegauflösung des Meßkopfantriebes angetrieben ist/sind.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Stellglied der Einheit (18) des Meßkopfantriebes röhrenförmig ausgebildet ist.

27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebswelle (3) eine Durchgangsbohrung aufweist.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Stellglied (13) austauschbar ist.

29. Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Messung der Härte von Stoffen.

30. Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Messung der Viskosität von Stoffen.

31. Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Messung von Kompression.

32. Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Spannungs-Dehnungs-Messung.

33. Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Messung von Haft-, Gleit- oder Rollreibungskräften.

34. Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Messung des E-Moduls.

35. Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Schichtdickenmessung.

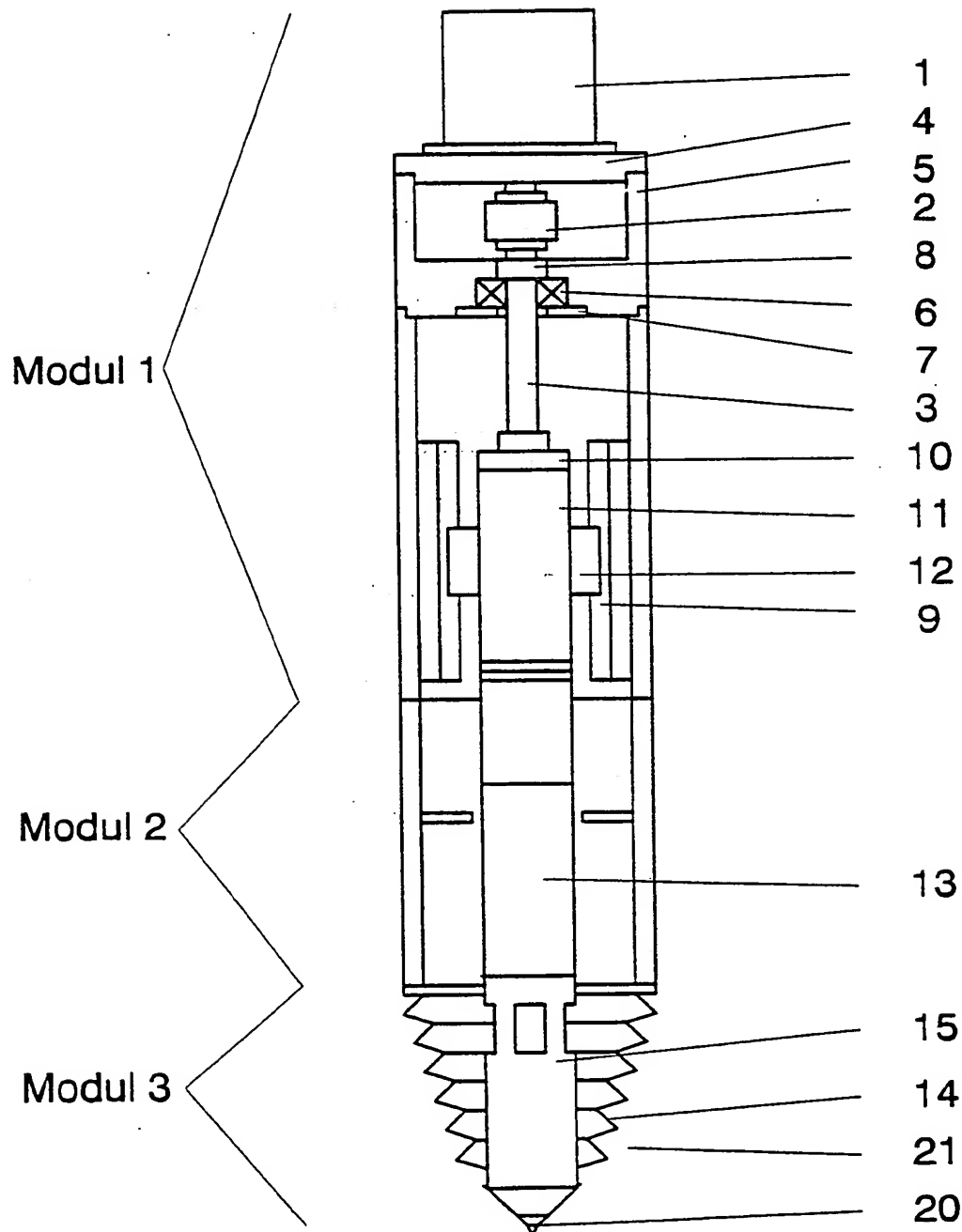
36. Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Bestimmung von Versagenskriterien.

37. Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 1 zur Messung des Schubmoduls (G-Modul).

---

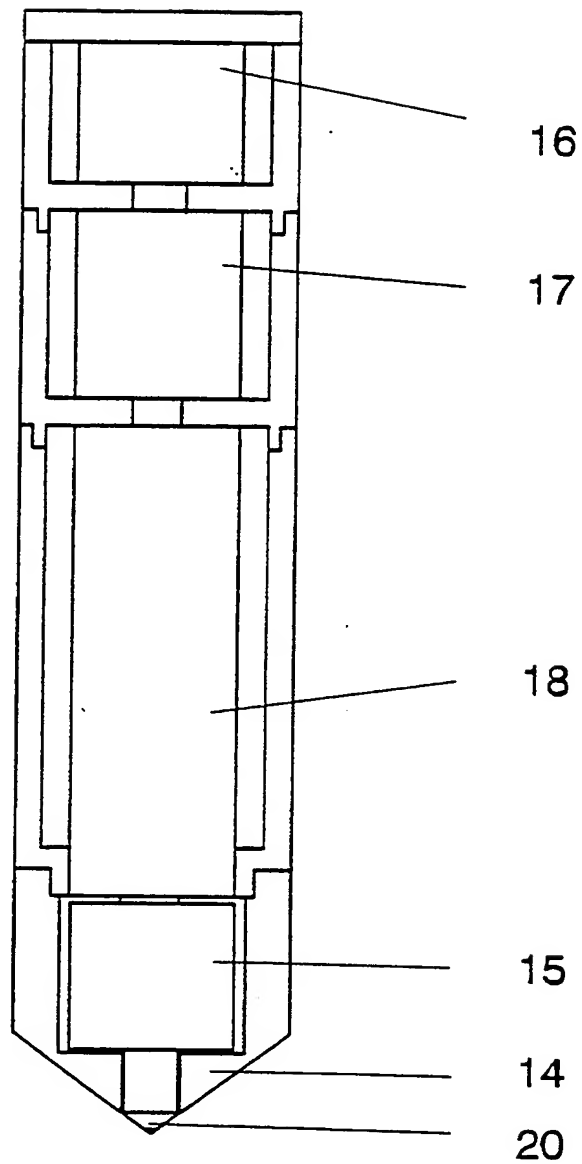
Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

---

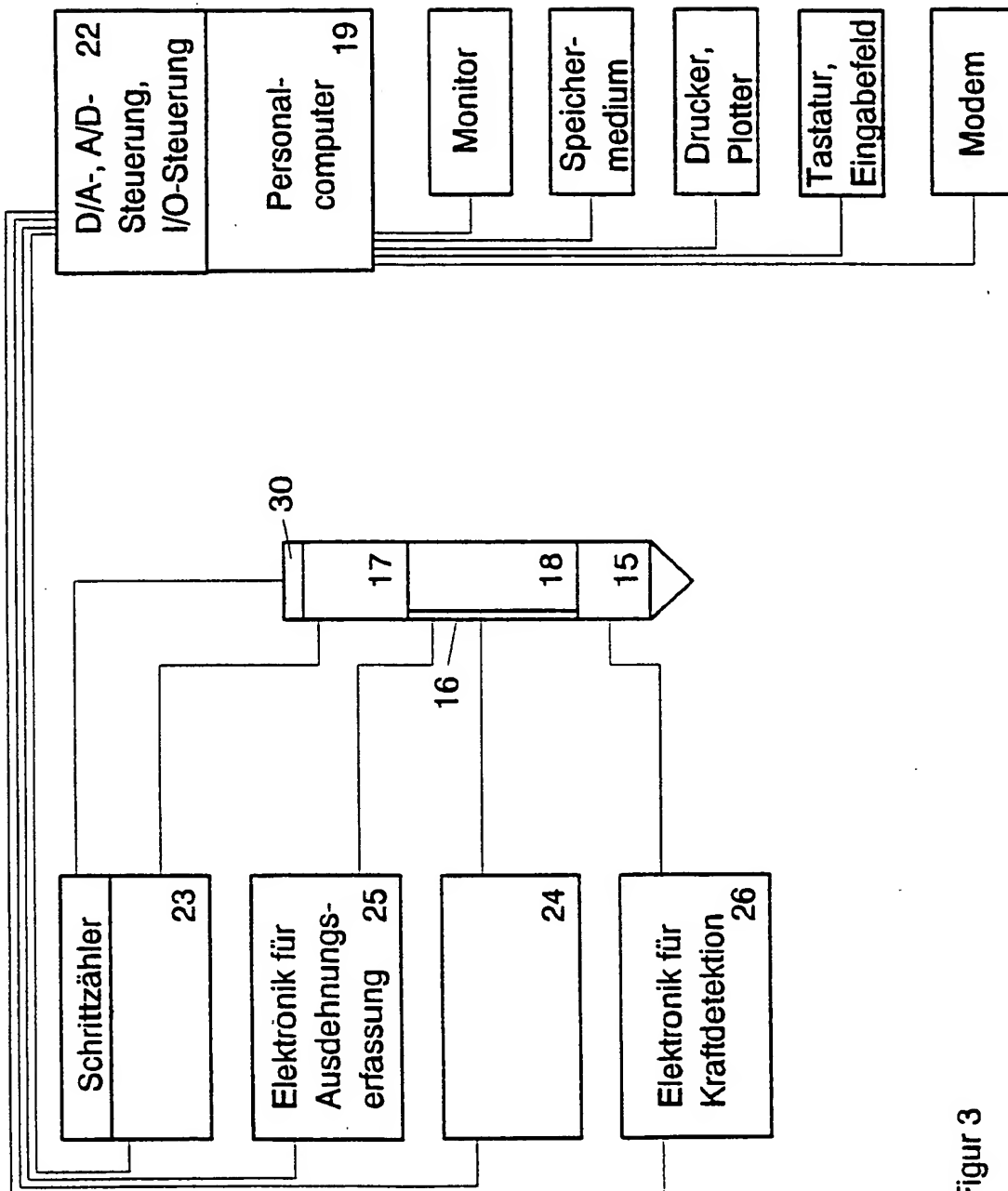


Figur 1

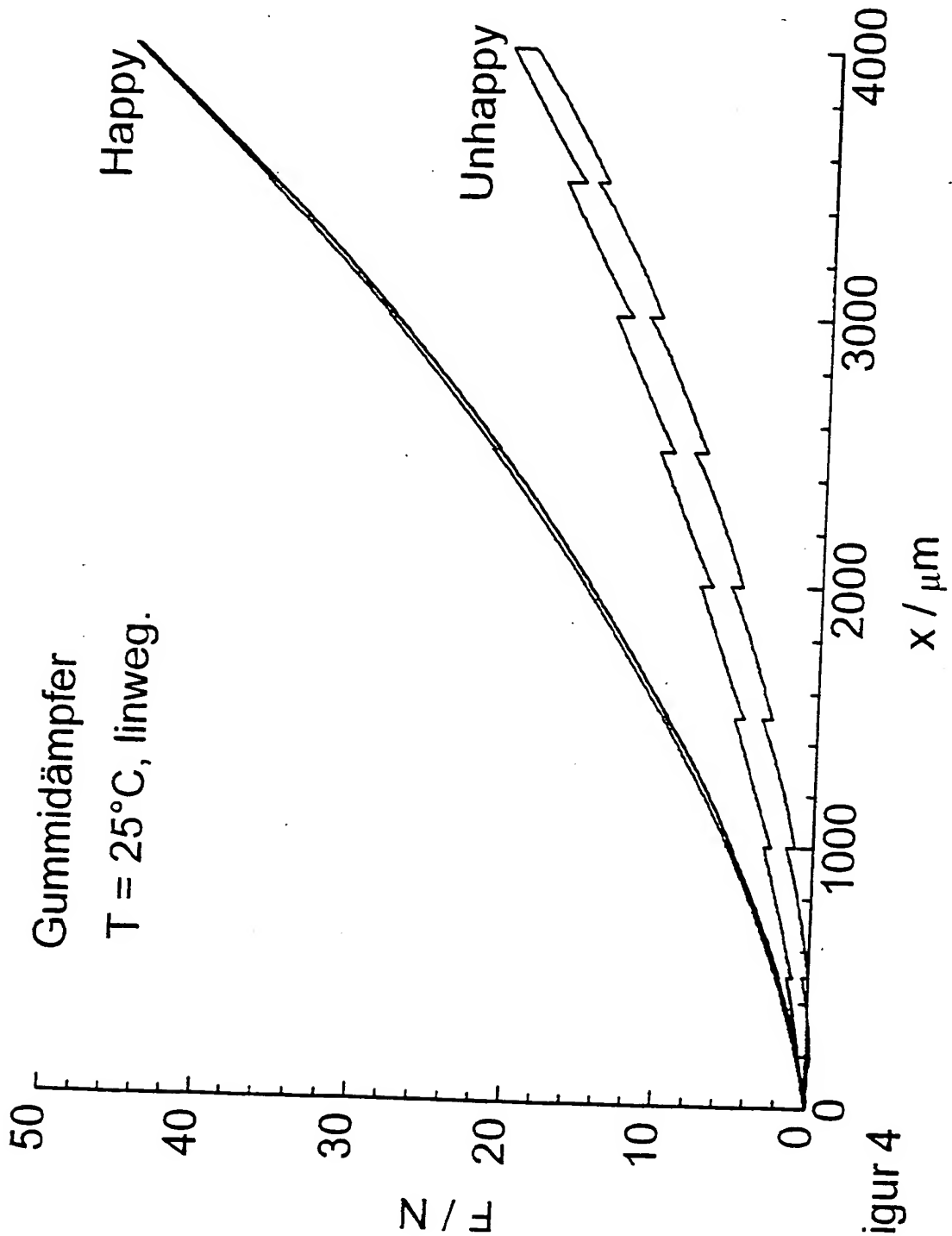




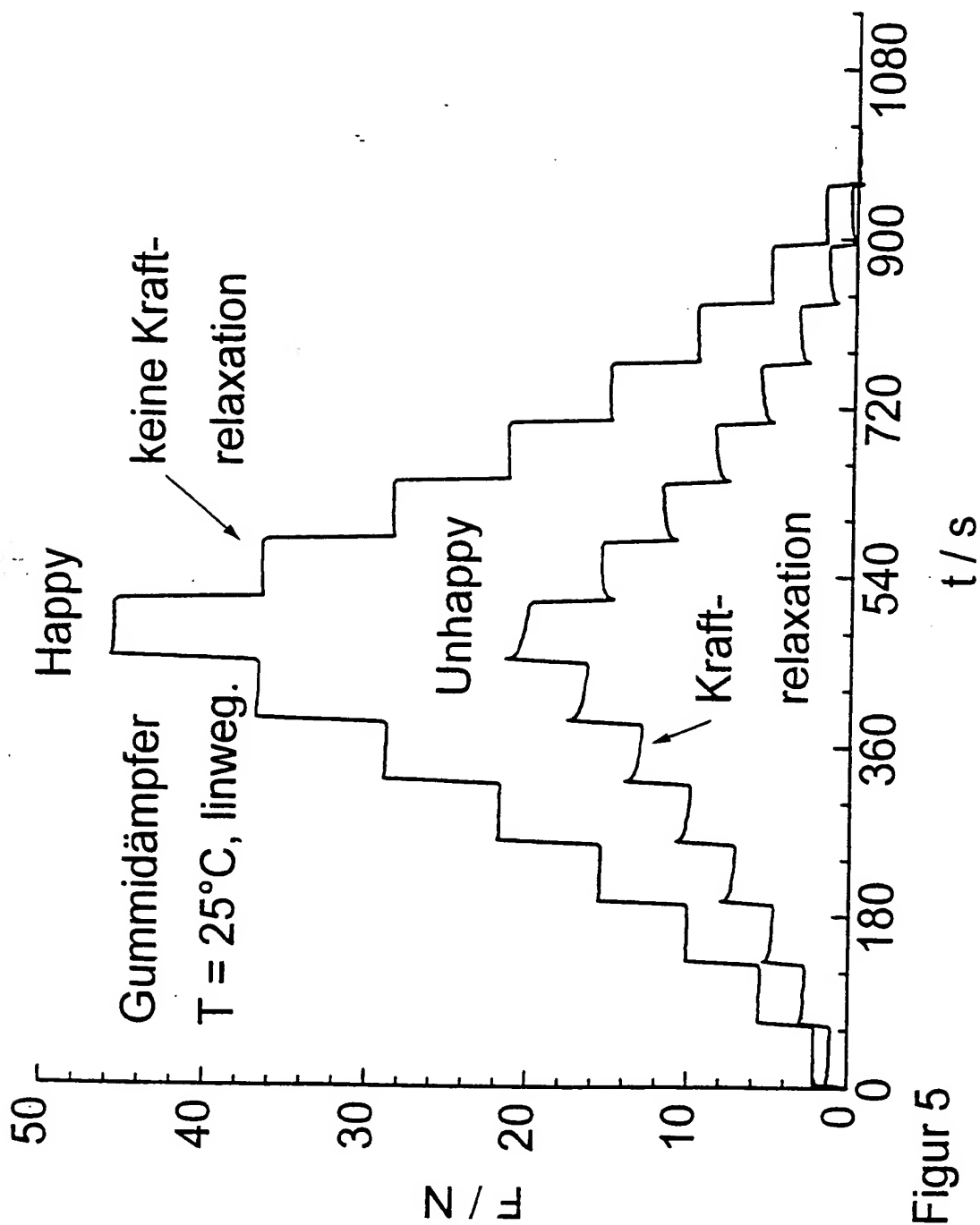
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5

